

碰撞实验报告

姓名 陆皓喆 学号 2211044 专业 工科试验班（信息科学与技术）

组别 D 实验时间 周二上午 4 月 11 日

一、目的要求

1. 用对心碰撞特例检验动量守恒定律。
2. 了解动量守恒和动能守恒的条件。
3. 熟练地使用气垫导轨及数字毫秒计。

二、原理

1. 验证动量守恒定律

在平直导轨上，两个滑块作对心碰撞，在忽略阻力的情况下，在水平方向上应满足动量守恒定律成立的条件，即碰撞前后总动量不变。

$$m_1 u_1 + m_2 u_2 = m_1 v_1 + m_2 v_2$$

式中 u_1 、 u_2 和 v_1 、 v_2 是两滑块在碰撞前后的速度，通过验证等式左右相等来验证动量守恒定律。

2. 碰撞后的动量损失

动能在碰撞过程中是否守恒与碰撞的性质有关，该性质通产用恢复系数 e 表示：

$$e = \frac{v_2 - v_1}{u_1 - u_2}$$

当 $e=1$ 时，这类碰撞称为完全弹性碰撞。

当 $0 < e < 1$ 时，这类碰撞称为非弹性碰撞。

当 $e=0$ 时，这类碰撞称为完全非弹性碰撞。

3. $m_1 = m_2 \equiv m$ ，且 $u_2 = 0$ 的特定条件下，两滑块的对心碰撞

(1) 对完全弹性碰撞， $e=1$ 。

实际条件不能达到理想化，若两滑块质量不严格相等，两挡光物的有效挡光宽度 Δs_1 和 Δs_2 也不严格相等，则碰撞前后的动量百分差 E_1 为

$$E_1 = \frac{|p_2 - p_1|}{p_1} = \left| \frac{m_2 \Delta s_2 \Delta t_1}{m_1 \Delta s_1 \Delta t_2} - 1 \right|$$

动能百分差 E_2 为

$$E_2 = \frac{|E_{k2} - E_{k1}|}{E_{k1}} = \left| \frac{m_2 \Delta s_2^2 \Delta t_1^2}{m_1 \Delta s_1^2 \Delta t_2^2} - 1 \right|$$

若 E_1 和 E_2 在其实验误差范围内，则说明上述结论成立。

(2) 对完全非弹性碰撞

动量和动能百分差 E'_1 及 E'_2 分别为

$$E'_1 = \frac{|p'_2 - p'_1|}{p'_1} = \left| \left(1 + \frac{m_2}{m_1} \right) \frac{\Delta t'_1}{\Delta t'_2} - 1 \right|$$

$$E'_2 = \frac{|E'_{k2} - E'_{k1}|}{E'_{k1}} = \left| \left(1 + \frac{m_2}{m_1} \right) \left(\frac{\Delta t'_1}{\Delta t'_2} \right)^2 - 1 \right|$$

则动能损失的百分误差为

$$E_\Delta = \left| 2 \left(1 + \frac{m_2}{m_1} \right) \left(\frac{\Delta t'_1}{\Delta t'_2} \right)^2 - 1 \right|$$

若 E'_1 及 E_Δ 在其实验误差内，则说明上述结论成立。

三、仪器用品

气垫导轨及附件（包括滑块及挡光框各一对）、数字毫秒计、物理天平及游标卡尺等。

四、实验内容

1. 用物理天平测量两滑块（连同挡光物）的质量 m_1 及 m_2 ；
2. 用动态法调平导轨，使滑块在选定方向上可以进行匀速运动，速度应与实际碰撞时速度接近。
3. 用游标卡尺测出挡光物的有效挡光宽度 Δs_1 、 Δs_2 及 $\Delta s'_1$ ；
4. 在 $m_1 \approx m_2 \equiv m$ 的条件下，测出完全弹性和完全非弹性碰撞前后两滑块各自通过光电门1和2的时间 Δt_1 、 Δt_2 和 $\Delta t'_1$ 、 $\Delta t'_2$ 。

五、注意事项

1. 严格按照气垫导轨操作规则，维护气垫导轨；
2. 实验中应保证 $u_2 = 0$ 的条件，为此，在第一滑块未到达之前，先用手轻扶滑块2，待滑块1即将与2碰撞之前再松手，且松手时不应给滑块以初速度；
3. 给滑块1速度时要平稳，不应该使滑块产生摆动；挡光框平面应与滑块运动方向一致，且其遮光边缘应与滑块运动方向垂直；
4. 严格遵守电子天平的操作规则；
5. 挡光框与滑块之间应该固定牢固，防止碰撞时相对位置改变，影响测量精度。

六、考查题

1. 动量守恒定律成立的条件是什么？实验中应如何保证？
保证 $m_1 \approx m_2 \equiv m$ 。
2. 完全非弹性碰撞中，要求碰撞前后选用同一挡光框遮光有什么好处？实验操作中如何实现？
使用同一挡光框能避免因两挡光框有效挡光宽度不同导致的系统误差。实验中使用滑块1前后经过两个光电门的时间作为实验数据。
3. 既然导轨已经调平，为什么实验操作中还要用手扶住滑块二？手扶滑块时应该注意什么？
导轨调平是为了能使滑块在其上运动时能匀速，而非滑块能在其上静止，手扶滑块可以保证滑块二初速度为0。应注意松手时不要给滑块2初速度。
4. 滑块2距光电门2近些好还是远些好？两光电门之间近些好还是远些好？为什么？
滑块2应离光电门稍微远些，避免碰撞后滑块2在短暂的加速过程中通过光电门。两门之间距离适当远些，理由同上。

七、思考题

1. 完全弹性碰撞的特点是什么？试证明在完全弹性碰撞中，两物体分离的速度 $v_2 - v_1$ 等于碰撞前两物体相互接近的速度 $u_1 - u_2$ 。
碰撞前后动能守恒，恢复系数 $e=1$ 。根据 e 的公式可知 $u_2 - u_1 = v_2 - v_1$ 。
2. 设导轨质量远大于滑块质量，问：当滑块与导轨一端做弹性碰撞时，其恢复系数等于多少？
导轨质量远大于滑块质量，则滑块在与导轨一端碰撞后原速返回，则 $v_2 - v_1 = v_2 - v_1$ ，即 $e=1$ 。
3. 为什么要尽量做到对心碰撞？在你的实验中是如何保证的？
只在一维方向上验证动量守恒定律，保证滑块只沿导轨方向运动而不沿垂直方向抖动。
4. 设两滑块质量及速度大小均相同，相对碰撞之后，两滑块的运动情况将如何？
以大小相等，方向相反的速度弹开。

5. 试总结，为了验证本次实验的结论，在实验操作中保证实验条件以减小测量误差的方法。

保证两滑块质量近似相等；两挡光物有效挡光宽度近似相等；保证滑块 2 初速度为 0；保证滑块在导轨上不抖动；调平气垫导轨等。

八. 数据处理

$$m_1 = 131.52g, m_2 = 131.52g$$

$$\Delta s_1 = 50.00mm, \Delta s_2 = 50.00mm, \Delta s'_1 = 50.00mm$$

次数 i	完全弹性				完全非弹性			
	碰前		碰后		碰前		碰后	
	Δt_1 /ms	$u/(m \cdot s^{-1})$	$\Delta t_2/s$	$v/(m \cdot s^{-1})$	$\Delta t'_1/s$	$u'/(m \cdot s^{-1})$	$\Delta t'_2/s$	$v'/(m \cdot s^{-1})$
1	96.72	0.51696	98.13	0.50953	93.89	0.53254	190.22	0.26285
2	106.97	0.46742	110.32	0.45323	126.27	0.39598	263.21	0.18996
3	132.27	0.37801	135.02	0.37032	114.91	0.43512	236.81	0.21114

以表中第二组数据为例，

先计算完全弹性碰撞。

恢复系数

$$e = \frac{v_2 - v_1}{u_1 - u_2}$$

求得 $e = 0.96964$

动量百分差

$$E_1 = \frac{|P_2 - P_1|}{P_1} = \left| \frac{m_2 \Delta s_2 \Delta t_1}{m_1 \Delta s_1 \Delta t_2} - 1 \right|$$

求得 $E_1 = 3.03662\%$

动能百分差

$$E_2 = \frac{|E_{k2} - E_{k1}|}{E_{k1}} = \left| \frac{m_2 \Delta s_2^2 \Delta t_1^2}{m_1 \Delta s_1^2 \Delta t_2^2} - 1 \right|$$

求得 $E_2 = 5.98103\%$

发现三者均在误差范围内，动量守恒定律验证完毕。

再计算完全非弹性碰撞。

显然 $e = 0$ 。

分别计算，得：

$$E'_1 = \frac{|p'_2 - p'_1|}{p'_1} = \left| \left(1 + \frac{m_2}{m_1} \right) \frac{\Delta t'_1}{\Delta t'_2} - 1 \right| = 1.28273\%$$

$$E'_2 = \frac{|E'_{k2} - E'_{k1}|}{E'_{k1}} = \left| \left(1 + \frac{m_2}{m_1} \right) \left(\frac{\Delta t'_1}{\Delta t'_2} \right)^2 - 1 \right| = 53.9716\%$$

$$E_\Delta = \left| 2 \left(1 + \frac{m_2}{m_1} \right) \left(\frac{\Delta t'_1}{\Delta t'_2} \right)^2 - 1 \right| = 7.93627\%$$

发现三者均在误差范围内，验证完毕。

实验结论分析：通过两组数据的验证，我们验证了动量守恒定律，计算了碰撞后的动能损失，还验证了其都在范围内。

下面是实验过程中的部分拍摄：

$\Delta S_1 = \Delta S_2 = 5.00 \text{ cm.}$					
	ms				
	Δt_1	u	Δt_2	v	θ
1	96.72	98.13	93.89	190.22	
			126.27	263.21	
2	101.97	110.32			
			114.91	236.81	
3	132.27	135.02			

